

УДК 611.11.01:537.86

СТЕКЛА РАДИОЗАЩИТНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Канд. техн. наук **М. В. ДЯДЕНКО** (e-mail: dyadenko-mihail@mail.ru)

Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет» (Республика Беларусь, г. Минск)

Представлены результаты исследований щелочных боросиликатных стекол, которые предназначены для ослабления электромагнитного излучения СВЧ-диапазона и обладают высокой термостойкостью. Установлено влияние химического состава опытных стекол на их ТКЛР и величину электрофизических свойств (показатель поглощения и коэффициент стоячей волны). По результатам исследований определен состав стекла, характеризующийся требуемой термостойкостью и величиной поглощения электромагнитного излучения СВЧ-диапазона не менее 0,7 дБ/мм. Предлагаемый состав стекла может быть рекомендован для изготовления изделий, используемых в качестве радиозащитных

Ключевые слова: электромагнитная волна, сверхвысокочастотное излучение, радиозащитное стекло, температурный коэффициент линейного расширения, теплоемкость, показатель поглощения, коэффициент стоячей волны, диэлектрические потери

ELECTROMAGNETIC SHIELDING GLASS

M. V. Dyadenko (Educational Institution "Belarusian State Technological University", Republic of Belarus, Minsk)

The results of studies of alkaline borosilicate glasses, which are designed to attenuate the electromagnetic radiation of the microwave range and have high temperature resistance, are presented. The influence of the chemical composition of the experimental glasses on their TCLE and the value of electrophysical properties (absorption index and standing wave coefficient). According to the research results, the composition of the glass, characterized by the required thermal stability and the amount of absorption of electromagnetic radiation of the microwave range of not less than 0.7 dB/mm. The proposed composition of the glass can be recommended for the manufacture of products used as electromagnetic shielding

Keywords: electromagnetic wave, microwave radiation, electromagnetic shielding glass, temperature coefficient of linear expansion, heat capacity, absorption index, standing wave coefficient, dielectric losses

Интенсивное использование электромагнитной энергии в современном информационном обществе привело к тому, что в последнее десятилетие XX века возник и сформировался новый значимый фактор загрязнения окружающей среды – электромагнитные поля (ЭМП) техногенного происхождения.

Технический прогресс обусловил использование во многих областях деятельности человека ЭМП различных частотных диапазонов, интенсивностей и режимов излучения. ЭМП получают все более широкое распространение как в производственных, так и в бытовых условиях, создавая значительную опасность для здоровья населения.

Повышенный уровень электромагнитного излучения (ЭМИ) приводит к нарушению нормальной физиологии человека. В частности, ЭМИ радиочастотного диапазона могут вызывать заболевания нервной, сердечно-сосудистой и дыхательной систем, изменять показатели крови и обмена веществ.

Сверхвысокочастотные (СВЧ) излучения являются наиболее вредными для органов с медленной циркуляцией тепла: тканей головного мозга и глаз.

Экранирование электромагнитных полей является актуальной задачей защиты здоровья, информационной безопасности, электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии жилых помещений, защиты помещений для серверов и электронного оборудования.

К категории наиболее опасных источников ЭМИ относятся высоковольтные линии, трансформаторные будки, антенны сотовых сетей, функционирующее промышленное оборудование.

Основными элементами системы сотовой связи являются базовые станции (БС), которые в зависимости от стандарта излучают электромагнитную энергию в диапазоне частот от 0,5 до 2,5 ГГц.

В зависимости от стандарта телефона передача ведется в диапазоне частот до 2 ГГц. Мощность

излучения является величиной переменной и в значительной степени зависит от состояния канала связи «мобильный телефон–базовая станция», т.е. чем выше уровень сигнала БС в месте приема, тем меньше мощность излучения мобильного телефона. Так, для стандарта GSM 900 диапазон излучаемых частот для мобильных аппаратов составляет 876 – 915 МГц, для стандарта GSM 1800 – 1,710 – 1,785 ГГц, для стандарта CDMA – 824 – 848 МГц, а для стандарта WCDMA – 1,920 – 1,980 ГГц.

Нормирование электромагнитного поля базовой станции (ЭМП БС) проводится в соответствии с требованиями Санитарных правил и норм «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ)» № 2.2.4/2.1.8.9-36–2002. Согласно данному документу в диапазоне частот 0,3 – 300 ГГц интенсивность электромагнитного излучения радиочастотного диапазона оценивается значениями плотности потока энергии, которая для населения не должна превышать 10,0 мкВт/см². Гигиенически значимые уровни ЭМП РЧ наблюдаются только в непосредственной близости от передающих антенн БС и от антенн радиорелейной связи на расстоянии до 10 – 15 м. В связи с этим техническое оборудование, расположенное на территории передающих радиоцентров, где размещены службы, обеспечивающие работу радиопередатчиков и антенно-фидерных систем, должно предусматривать специальные экраны для защиты обслуживающего персонала.

Защита от электромагнитного облучения может быть достигнута путем использования радиоотражающих или радиопоглощающих материалов: пористых материалов и стекла.

В связи с этим приобретает актуальность проблема разработки качественно новых эффективных методов и средств защиты от СВЧ-излучения.

В настоящее время все более важную роль приобретают стекла с особым комплексом радиофизических характеристик, предназначенные для высокоэффективного поглощения либо отражения электромагнитных излучений. Такой тип стекол называют радиозащитными.

Взаимодействие стекол с электромагнитным полем предопределяет комплекс особых требований к ним: величина температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) не должна превышать $(50...55) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$, величина поглощения или отражения электромагнитного излучения радиочастотного диапазона должна составлять не менее 0,7 дБ/мм, диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь должны иметь требуемые значения. Как известно [1], энергия электромагнитной волны при ее распространении в

веществе частично преобразуется в электрическую и тепловую, поэтому радиозащитный материал должен обладать полупроводниковыми свойствами и иметь термостойкость не ниже 150 °С. Мерой отклика материала на внешнее электрическое поле является комплексная диэлектрическая проницаемость:

$$\varepsilon = \varepsilon' + \varepsilon'',$$

где ε' – действительная часть диэлектрической проницаемости, отражающая интенсивность процесса поляризации;

ε'' – мнимая часть диэлектрической проницаемости, характеризующая плотность токов проводимости, которые обуславливают величину поглощения.

Микроволновая мощность, поглощаемая в единице объема материала W пропорциональна E , где E – напряженность электрического поля в материале. Диссипация микроволновой энергии (переход части энергии упорядоченных процессов в энергию неупорядоченных процессов, в конечном счете – в теплоту) обычно характеризуется тангенсом угла диэлектрических потерь:

$$\operatorname{tg} \delta = \varepsilon''/\varepsilon',$$

где $\operatorname{tg} \delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь.

Целью данных исследований явилось изучение взаимосвязи теплофизических (ТКЛР и термостойкость) и радиофизических свойств радиозащитных стекол, обеспечивающих ослабление электромагнитного излучения в диапазоне 1 – 3 ГГц.

Для синтеза такого типа стекол выбрана система $R_2O-B_2O_3-SiO_2$ (где $R_2O - Na_2O, K_2O, Li_2O$) при молярном соотношении компонентов, указанном в табл. 1.

Выбор системы обусловлен необходимостью введения в состав стекол значительного количества катионов щелочных металлов, которые являются подвижными вследствие того, что они однозарядные. Однако верхняя граница их использования ограничена массовым содержанием 30 %. Это обусловлено резким снижением химической устойчивости опытных стекол при дальнейшем повышении R_2O в их составе.

Синтез опытных стекол осуществляли в фарфоровых тиглях при температуре $1475 \pm 25 \text{ °C}$ в газовой пламенной печи периодического действия. Скорость подъема температуры составляла 250 °C/ч с выдержкой при максимальной температуре 1 ч. Подъем температуры в печи контролировали термпарой градуировки ТПП, точность измерения которой составляла $\pm 5 \text{ °C}$. При достижении одно-

Таблица 1. Составы опытных стекол

№ состава	Молярное соотношение		
	R_2O/B_2O_3	$B_2O_3/(B_2O_3+SiO_2)$	R_2O/SiO_2
1	1,750	0,121	0,241
2	2,000	0,125	0,286
3	1,400	0,152	0,250
4	2,250	0,129	0,333
5	1,600	0,156	0,296
6	1,167	0,182	0,259
7	2,500	0,133	0,385
8	1,800	0,161	0,346
9	1,333	0,188	0,308
10	1,000	0,212	0,269
11	2,750	0,138	0,440
12	2,000	0,167	0,400
13	1,500	0,194	0,360
14	1,143	0,219	0,320
15	1,125	0,242	0,360

родности стекломассы тигли со стекломассой извлекали из печи и осуществлялось формование изделий отливкой в формы.

После выработки образцы толщиной 7 – 9 мм подвергали отжигу в муфельной печи марки SNOL 6,7/1100 при температуре 560 ± 5 °C с выдержкой при максимальной температуре 1 ч.

Для синтеза стекол использовали следующие сырьевые материалы: песок кварцевый марки ООВС-015-1 (ГОСТ 22551), кислота борная марки Б (ГОСТ 18704), сода кальцинированная марки А (ГОСТ 5100), литий углекислый (ТУ 95.1951–89), поташ (ГОСТ 10690–73).

По результатам синтеза установлено, что опытные стекла характеризуются требуемой степенью осветления и отсутствием непроара.

Температурный коэффициент линейного расширения синтезированных стекол определяли на электронном горизонтальном dilatометре DIL 402 PC фирмы Netzsch (Германия) в интервале температур 20 – 300 °C. Для испытания использовали хорошо отоженные образцы в виде стержней диаметром 3,5 – 4,0 мм и длиной 48 – 50 мм. Длину образца измеряли с точностью до $\pm 0,1$ мм. Образцы устанавливали в кварцевую трубку строго по оси кварцевого стержня. Скорость нагрева образцов в печи составляла 5 °C/мин. Погрешность измерения находилась в пределах $\pm 0,2 \cdot 10^{-7}$ K⁻¹.

По результатам определения ТКЛР стекол системы $R_2O-B_2O_3-SiO_2$ выявлено, что данный показатель изменяется в пределах от $62,0 \cdot 10^{-7}$ до $67,9 \cdot 10^{-7}$ K⁻¹.

Как известно [2, 3], определяющее влияние на величину термического расширения опытных стекол оказывает содержание оксидов R_2O . В связи с этим проведена оценка влияния молярного соотношения R_2O/SiO_2 в составе опытных стекол на величину ТКЛР (рис. 1).

Как видно из рис. 1, изменение молярного соотношения R_2O/SiO_2 от 1,75 до 2,75 способствует росту термического расширения стекол.

Это связано с тем, что введение оксидов щелочных металлов вызывает заполнение пустот в структуре стекла, препятствующих изгибу связей Si–O и усиливающих их асимметрию, что и обуславливает рост ТКЛР.

На рис. 2 приведено влияние молярного соотношения $B_2O_3/(B_2O_3 + SiO_2)$ на термическое расширение щелочных боросиликатных стекол.

В случае изменения молярного соотношения $B_2O_3/(B_2O_3 + SiO_2)$, определяющего удельную долю оксида бора в общем содержании оксидов-стеклообразователей, от 0,121 до 0,242 при постоянном молярном содержании R_2O , равном 17,5 и 20 %, наблюдается появление экстремума на представленной зависимости при $B_2O_3/(B_2O_3 + SiO_2)$, составляющем 0,17 – 0,18.

Как известно [3, 4], присутствие щелочных металлов способствует переходу бора из тройной координации в четверную, при этом ион щелочного металла оказывается локализован на тетраэдре $[BO_4]^-$ – формируется структурная группировка $[BO_{4/2}]R^+$. Образование групп $[BO_{4/2}]R^+$ повышает степень связности структуры стекла, благодаря чему снижается значение температурного коэффициента линейного расширения.

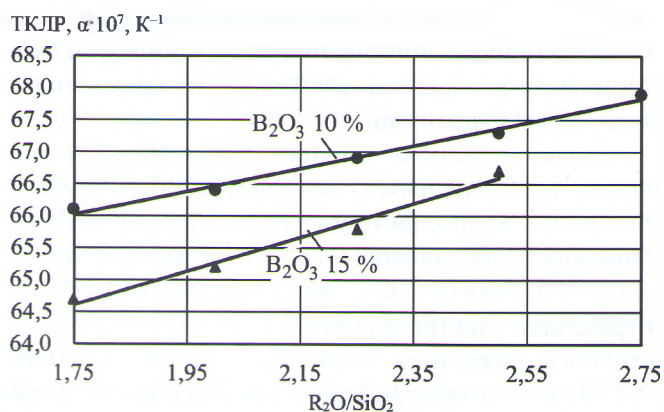


Рис. 1. Влияние молярного соотношения R_2O/SiO_2 на ТКЛР стекол системы $R_2O-B_2O_3-SiO_2$

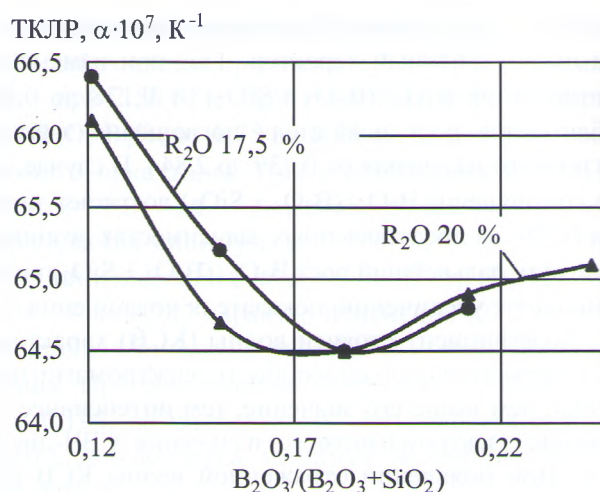


Рис. 2. Влияние молярного соотношения $B_2O_3/(B_2O_3 + SiO_2)$ на ТКЛР стекол системы $R_2O-B_2O_3-SiO_2$

В случае, если $B_2O_3/(B_2O_3 + SiO_2) > 0,18$, по-видимому, наблюдается преобладание групп $[BO_3]$ над $[BO_4]$, что вызывает разупрочнение боросиликатного каркаса и повышение значений ТКЛР. Наиболее оптимальной с точки зрения получения радиозащитных стекол является область составов стекол с соотношением $B_2O_3/(B_2O_3 + SiO_2)$, составляющим 0,15 – 0,21.

Экспериментально установлено, что термическая стойкость опытных стекол, определяющая способность стекла выдерживать без разрушения резкие перепады температур, изменяется от 160 до 180 °С. При этом максимальная термостойкость характерна для стекол, в которых молярное содержание R_2O составляет 20 %.

Поглощение СВЧ-излучения стеклами оценивалось волноводным методом в диапазоне 1 – 3 ГГц. Волноводный метод позволяет измерять показатель поглощения электромагнитной волны, а также коэффициент стоячей волны (КСВ) стекловидными образцами. Выбор частотного диапазона для исследований обусловлен особенностями распространения ЭМИ, используемого измерительной техникой и перспективой использования разрабатываемых материалов при защите от электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи. Основные элементы станции: СВЧ-источник, который генерирует электромагнитное излучение сверхвысокой частоты: GSM 900 (900 МГц), DCS 1800 (1800 МГц), 3G/UMTS 2100 (2100 МГц), 4G/LTE2500 (2500 МГц); и установленные на мачтах антенны, расположенные теперь повсеместно – в застройке жилых домов, в местах расположения детских садов, школ и больниц.

В основу построения схемы измерения положен принцип раздельного детектирования сигналов падающей и прошедшей волны в волноведущем тракте [5]. Измеряется мощность волны, падающей на исследуемый образец, и измеряется мощность волны, прошедшей через него. Отношение прошедшей к падающей мощности определяет поглощение исследуемого образца

$$A(\omega) = 10 \lg(P_{\text{прош}}/P_{\text{пад}}).$$

Измеряемый образец подключается к выходному плечу направленного ответвителя падающей мощности измерителя КСВ и показателя поглощения.

Показатель поглощения электромагнитной волны СВЧ-диапазона изменяется от 0,69 до 3,21 дБ, максимум характерен для частоты 2,5 ГГц и составляет 3,21 дБ. Коэффициент стоячей волны изменяется в пределах от 3,21 до 7,85.

Графические зависимости показателя поглощения опытных стекол от их химического состава приведены на рис. 3 и 4.

Как следует из рис. 3, увеличение соотношения R_2O/B_2O_3 от 1,75 до 2,25, вызывает изменение исследуемого показателя в пределах от 0,839 до 2,965 дБ. Данный факт, вероятно, связан с повышением степени полимеризации боросиликатного каркаса за счет образования тетраэдрических группировок $[BO_4/2]R^+$.

Переход бора из тригональной в тетраэдрическую координацию происходит только до тех пор, пока в структурной сетке не достигается критическая концентрация тетраэдрически координированного бора. Поэтому дальнейшее добавление щелочного оксида вызывает образование нестиковых атомов кислорода и появление связей Si–O–R.

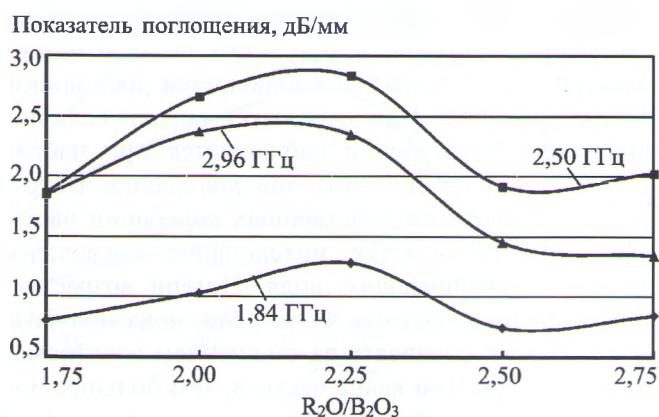


Рис. 3. Зависимость показателя поглощения опытных стекол системы $R_2O-B_2O_3-SiO_2$ от соотношения R_2O/B_2O_3

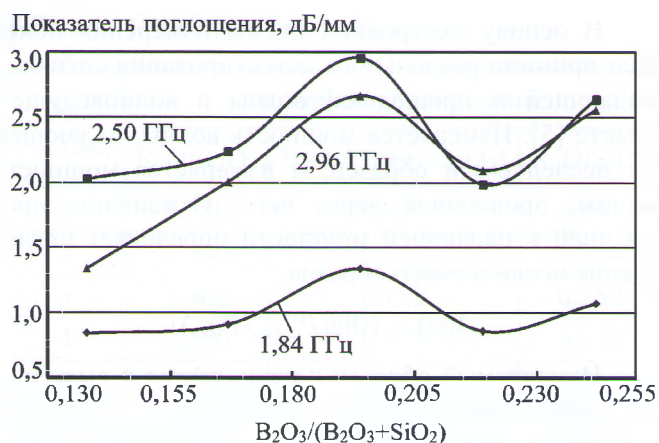


Рис. 4. Зависимость показателя поглощения опытных стекол системы $R_2O-B_2O_3-SiO_2$ от соотношения $B_2O_3/(B_2O_3 + SiO_2)$

Дальнейший рост соотношения R_2O/B_2O_3 от 2,25 до 2,75 вызывает уменьшение показателя поглощения вследствие увеличения доли более слабых связей Si-O-R, чем связь Si-O-Si.

Величина показателя поглощения в СВЧ-области зависит от величины диэлектрических потерь (потерь проводимости, релаксационных и деформационных потерь), которые определяются главным образом химическим составом и структурой стекла. Влияние химического состава стекла на величину диэлектрических потерь подобно его влиянию на электропроводность: компоненты, увеличивающие электропроводность, вызывают рост диэлектрических потерь в стекле. Поэтому стекла, содержащие в своем составе оксиды щелочных металлов, характеризуются повышенными диэлектрическими потерями.

Одним из источников релаксационных потерь в неорганических полупроводниках являются слабо связанные ионы щелочных металлов. Приложение электрического поля вызывает асимметрию в распределении зарядов, в результате чего возникает электрический момент и наблюдается рост показателя поглощения. При этом максимальная величина показателя поглощения наблюдается при частоте 2,50 ГГц. Как известно [6], при совпадении частоты сигнала с частотой собственных колебаний частиц вещества наблюдается интенсивное поглощение энергии электрического поля. Потери возрастают с повышением частоты до тех пор, пока поляризация успевает следовать за смещением электромагнитного поля. Чем выше частота, тем большее число переориентаций диполя и тем выше тангенс угла диэлектрических потерь $\tan \delta$. Когда частицы не успевают ориентироваться за полем, $\tan \delta$ уменьшается, а мощность потерь становится постоянной.

Как видно из рис. 4, представленные зависимости имеют сложный характер. Так, при изменении соотношения $B_2O_3/(B_2O_3 + SiO_2)$ от 0,138 до 0,194 наблюдается рост показателя поглощения электромагнитного излучения от 0,739 до 2,844. В случае, когда соотношение $B_2O_3/(B_2O_3 + SiO_2)$ достигает значения 0,219, на представленных зависимостях возникает минимум, дальнейший рост $B_2O_3/(B_2O_3 + SiO_2)$ вновь приводит к увеличению показателя поглощения.

Коэффициент стоячей волны (КСВ) характеризует отражательную способность электромагнитной волны: чем выше его значение, тем интенсивнее отражение электромагнитного излучения СВЧ-диапазона. При появлении отраженной волны КСВ возрастает в прямой зависимости от степени рассогласования тракта и нагрузки.

Графические зависимости коэффициента стоячей волны опытных стекол от химического состава представлены на рис. 5 и 6.

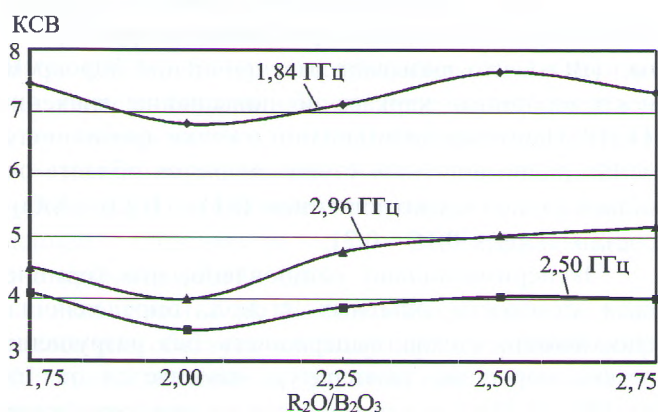


Рис. 5. Зависимость КСВ опытных стекол от соотношения R_2O/B_2O_3

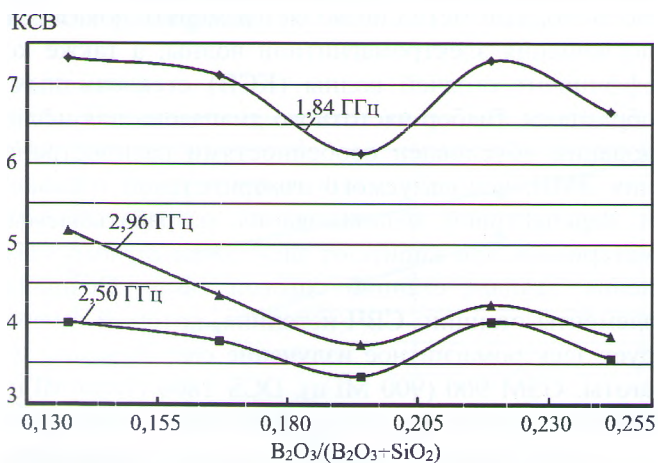


Рис. 6. Зависимость КСВ опытных стекол от соотношения $B_2O_3/(B_2O_3 + SiO_2)$

Как видно из рис. 5 и 6, максимальная величина КСВ наблюдается при частоте 1,84 ГГц, минимальная – при 2,50 ГГц. При этом изменение соотношения R_2O/B_2O_3 от 1,75 до 2,75 вызывает рост исследуемого показателя. При соотношении R_2O/B_2O_3 , равном 2,0, на представленных зависимостях наблюдается минимум.

При изменении соотношения $B_2O_3/(B_2O_3 + SiO_2)$ от 0,138 до 0,242 характер изменения КСВ аналогичен приведенному на рис. 4 для показателя поглощения. При соотношении $B_2O_3/(B_2O_3 + SiO_2)$, равном 0,194, на приведенных зависимостях для всех частот наблюдается минимум величины данного показателя.

Диэлектрические потери связаны в основном с процессами установления поляризации, возникающей в диэлектрике при воздействии электрического поля. Быстро протекающие процессы поляризации вызывают поглощение энергии электрического поля, когда частоты собственных колебаний ионов и электронов совпадают с частотой электрического поля. Различные виды поляризации, связанные с тепловым движением ионов и электронов, устанавливаются гораздо медленнее и являются в большинстве случаев основным источником диэлектрических потерь в широкой области радиотехнических частот.

Тангенс угла диэлектрических потерь $tg\delta$ характеризует способность материала рассеивать энергию под воздействием на него электрического поля. Тангенс угла диэлектрических потерь опытных стекол изменяется от 0,1428 до 0,8233.

На рис. 7 и 8 представлены зависимости тангенса угла диэлектрических потерь от изменения соотношений $B_2O_3/(B_2O_3 + SiO_2)$ и R_2O/B_2O_3 при различных частотах.

Как и в случаях, приведенных на рис. 4 и 6, сложный характер зависимости обусловлен изменением соотношения различных борсодержащих группировок в структуре стекла.

Изменение частоты прилагаемого электромагнитного поля от 1,84 до 2,50 ГГц обуславливает рост $tg\delta$, дальнейшее увеличение частоты до 2,96 ГГц вызывает уменьшение исследуемого показателя.

Как видно из рис. 8, при изменении соотношения R_2O/B_2O_3 от 1,75 до 2,25 наблюдается рост тангенса угла диэлектрических потерь. При этом с повышением частоты прилагаемого электромагнитного поля возрастает угол подъема кривой. При соотношении R_2O/B_2O_3 более 2,25 наблюдается уменьшение тангенса угла диэлектрических потерь.

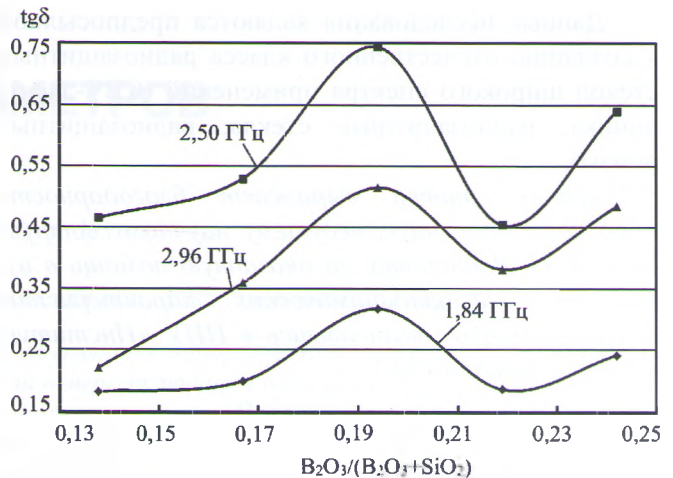


Рис. 7. Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь опытных стекол от соотношения $B_2O_3/(B_2O_3 + SiO_2)$ при различных значениях частоты

По результатам проведенных исследований определен оптимальный состав стекла, который характеризуется высокой устойчивостью стеклообразного состояния при градиентной термообработке в интервале температур 650 – 1100 °С, величиной ТКЛР $(65,2 \pm 1) \cdot 10^{-7} \text{ К}^{-1}$, термостойкостью $170 \pm 5 \text{ °С}$. Исследована зависимость и выполнена оптимизация электродинамических характеристик радиозащитных стекол: величины поглощения и коэффициента отражения от химического состава опытных стекол в диапазоне частот электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи 1,75 – 3,00 ГГц. Стекла характеризуются следующим показателем поглощения электромагнитного излучения в данном диапазоне: 1,857 ГГц – 9,466 дБ; 2,367 ГГц – 7,226 дБ; 2,947 ГГц – 7,376 дБ.

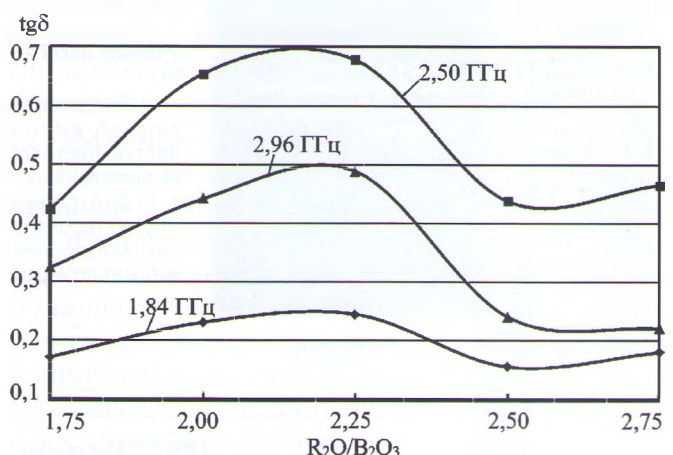


Рис. 8. Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь опытных стекол от соотношения R_2O/B_2O_3 при различных значениях частоты

Данные исследования являются предпосылкой к созданию отечественного класса радиозащитных стекол широкого спектра применений (СВЧ-электроника, радиозащитные стекла, радиозащитные линзы).

Автор статьи выражает благодарность канд. физ.-мат. наук, ведущему научному сотруднику В. Н. Родионовой за оказанную помощь в измерении электродинамических характеристик стекол, которые выполнялись в НИУ «Институт ядерных проблем» БГУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

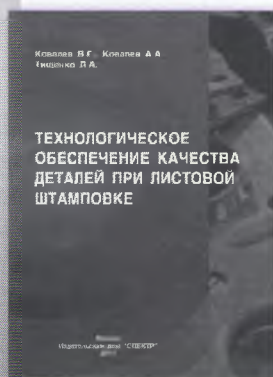
1. **Машкович В. П.** Защита от ионизирующих излучений. Минск: Энергоатомиздат, 1995. 440 с.
2. **Аппен А. А.** Химия стекла. М.: Химия, 1974. 360 с.
3. **Шелби Дж.** Структура, свойства и технология стекла. М.: Мир, 2006. 288 с.
4. **Бобкова Н. М.** Теоретические основы стеклообразования. Строение и свойства стекол. Минск: БГТУ, 2003. 133 с.
5. **Елизаров А. С.** Электрорадиоизмерения. Минск: Вышэйш. шк., 1986. 320 с.
6. **Негоденко О. Н., Мирошниченко С. П.** Материалы электронной техники. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2006. Ч. 1. 66 с.



Спектр
Издательский дом

Ковалев В. Г., Ковалев А. А., Тищенко Л. А.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ ПРИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКЕ



ISBN 978-5-4442-0130-5. Формат - 60х90 1/16, 45 страниц.
Год издания - 2017, издание 1-е.

Учебное пособие

Представлены технологические требования к конструкции листоштампованных деталей, изготавливаемых при выполнении операций: отрезки, вырубки, пробивки, зачистки, чистовой вырубки и пробивки, гибки, вытяжки, вытяжки с утонением и других штамповочных операций, в том числе комбинированных.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Проектирование технологических машин и комплексов» и другим технологическим специальностям и направлениям подготовки, а также специализации «Проектирование и технология радиоэлектронных средств».

330 руб.

119048, г. Москва, ул. Усачева, д. 35, стр. 1. 000 «Издательский дом «Спектр»
Телефон отдела реализации: (495) 514-26-34. Дополнительный телефон офиса: (926) 615 17 16.
E-mail: zakaz@idspektr.ru. Http://www.idspektr.ru

www.idspektr.ru